

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیست و یکم، پاییز ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۱

صفحات: ۱۳۰ - ۱۱۱

## ارزیابی آلودگی عناصر نادر و پتانسیل خوردگی در منابع آب زیرزمینی نواحی جنوب و جنوب غربی شهر سیرجان

سیمین شجاعی باغینی<sup>۱</sup>، رضا جهانشاهی<sup>۲\*</sup>، سپیده مالی<sup>۳</sup>

### چکیده

این پژوهش به بررسی گسترش آلودگی عناصر نادر، یونهای جزئی نیتريت، نیترات، آمونیوم و پتانسیل خوردگی در منابع آب زیرزمینی در مناطق جنوب و جنوب غربی شهر سیرجان در استان کرمان می پردازد. بدین منظور در مردادماه ۱۳۹۵ از آب زیرزمینی ۱۱۵ محل چاه کشاورزی، چاه مشاهده ای و قنات در مناطق شهر سیرجان، کفه نمک خیرآباد، چاهدراز، ناحیهی معدن گل گهر، قطاربنه-عینالبقر و کفه مرگ، نمونه برداری جهت آنالیز نیترات، نیتريت، آمونیوم و برخی از عناصر نادر انجام شده است. میانگین غلظت عناصر و یونهای جزئی به ترتیب از بیشتر به کمتر عبارت است از:  $NO_2 > Cu > Pb > Cd > Cr > Ba > Mn > As > NH_4 > B > NO_3$ . غلظت این عناصر و یونها عمدتاً در آب زیرزمینی نواحی چاهدراز و کفه مرگ، از حد مجاز WHO بیشتر است. علاوه بر این غلظت عناصر B، Cd و As در تمام مناطق بالاتر از حد مجاز است. کروم در منابع آب زیرزمینی تمام مناطق به جز منطقهی شهر سیرجان، غلظتی بیش از حد مجاز WHO دارد. همچنین غلظت سرب در مناطق مربوط به کفه نمک خیرآباد و چاهدراز بالاتر از حد مجاز است و نشان دهنده آلودگی سرب در این نواحی می باشد. در حالیکه Cu، Ba، NO<sub>2</sub> و Sb در همه مناطق، غلظتی کم تر از حد مجاز WHO دارند. اندیس های آلودگی HEI، HPI و C<sub>a</sub> نشان می دهد بیشترین خطر آلودگی مربوط به منطقهی معدنی گل گهر، چاهدراز، نقاط KH1 و KH2 در کفه نمک خیرآباد و دو نقطه ی KM1 و KM7 در کفه مرگ است و سایر نقاط منطقه از سطح آلودگی پایینی برخوردار هستند. نهایتاً پراکندگی شاخص خوردگی لانزلیه در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان داد پتانسیل خوردگی آب زیرزمینی در این ناحیه بالاست. بنابراین فرایند کنترل خوردگی آب، هنگام استفاده از آب زیرزمینی منطقه باید رعایت شود.

واژگان کلیدی: آلودگی آب زیرزمینی، شاخص های آلودگی، شاخص لانزلیه

shojaee17@yahoo.com

jahanshahireza@science.usb.ac.ir

sepedehmali@shahroodut.ac.ir

<sup>۱</sup>- دانشجوی کارشناسی ارشد آب شناسی، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

<sup>۲</sup>- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup>- دانشجوی دکتری آب شناسی، گروه آب شناسی و زمین شناسی زیست محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود

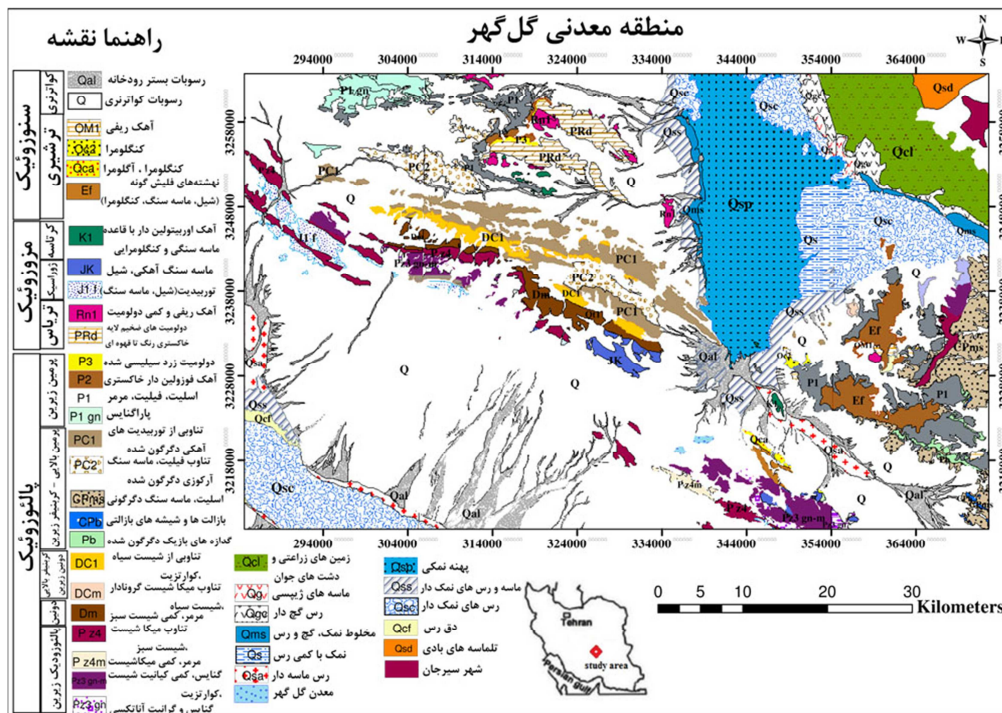
## مقدمه

فلزات سنگین در پوسته زمین یافت می‌شوند و می‌توانند در آب‌های زیرزمینی توسط فرآیندهای موجود در خاک، انحلال یابند. به‌طور کلی فلزات سنگین دارای دو منشأ اصلی می‌باشند؛ (۱) منشأ طبیعی که در اثر هوازدگی سنگ وارد محیط زیست می‌شوند و (۲) منشأ انسانی که در اثر فعالیت‌های صنعتی، معدنکاری، عبور و مرور وسایل نقلیه و دیگر فعالیت‌های انسانی وارد طبیعت می‌شوند (Kribek et al., 2010). آلودگی محیط‌های طبیعی توسط فلزات سنگین یک مسئله جهانی است؛ به‌دلیل اینکه فلزات ماندگار هستند و هنگامی که از غلظت مجازشان تجاوز می‌کنند، تأثیرات سمی بر روی ارگانیسم‌های زنده می‌گذارند (Chakraborty, 2009). فعالیت‌های معدنی روی سیستم‌های آب‌های طبیعی اثر شدیدی دارد و تأثیرات آنها ممکن است تنها بعد از معدنکاری آشکار شود. اثرات شدید معدن‌کاری فلزی به روش‌های معدن‌کاری، فرآوری سنگ معدن، نوع سنگ معدن، فلزات استخراج‌شده، تلاش برای کنترل کردن آلودگی و فاکتورهای محیطی وابسته است (Zabowski, 2001). فلزات سنگین با توجه به سمیت‌شان و تأثیر آنها بر روی زندگی موجودات زنده شناخته شده‌اند، به‌خصوص هنگامی که در فرم یونی در آب حل می‌شوند. بیشترین سمیت یک یون فلزی کمی بالاتر از حد مجاز آن است (Chaturvedi et al., 2018). آلودگی آب نه تنها بر کیفیت آب تأثیر می‌گذارد، بلکه سلامت انسان، توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی را هم تهدید می‌کند. شاخص‌های کیفیت آب یکی از مؤثرترین ابزارها برای انتقال اطلاعات در مورد کیفیت هر آب هستند (Singh and Kamal., 2017). در سال‌های اخیر توجه زیادی به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی با استفاده از اندیس آلودگی فلزات سنگین (HPI)، اندیس ارزیابی فلزات سنگین (HEI) و درجه آلودگی (C<sub>d</sub>) شده است (Jahanshahi and Zare, 2015; Ahmadi et al., 2018). در کنار آلودگی منابع آب، خاصیت خوردگی آب زیرزمینی نیز یکی از معضلات آب‌های مناطق معدنی است. خوردگی یک واکنش فیزیکی-شیمیایی متقابل بین فلز و محیط اطراف آن است؛ که معمولاً دارای طبیعت الکتروشیمیایی بوده و نتیجه‌ی آن تغییر در خواص فلزی می‌باشد. این پدیده نه تنها می‌تواند مقادیر جانبی مانند سرب، آرسنیک و غیره را به آب آشامیدنی وارد کند، بلکه ممکن است به مشکلات جدی سلامتی و کاهش طول عمر لوله‌ها و اتصالات نیز منجر شود (Gholizadeh et al., 2017). یکی از مشکلات مهم ناشی از آب‌های زیرزمینی در صنعت خوردگی سازه‌های فلزی است. به‌عنوان مثال، هنگامی که آب‌های زیرزمینی آلوده شده برای کاربردهای زمین‌گرمایی استفاده می‌شوند، سبب می‌شوند که سیستم‌های لوله‌کشی، مبدل‌های حرارتی و خطوط لوله کویل پوسیده شوند و باید آنها را تعمیر یا جایگزین کرد. به‌طور کلی بیشتر مسائل مربوط به خوردگی با آب‌های زیرزمینی با شوری کم همراه است، در حالی که مسائل پوسته پوسته شدن مربوط به آب‌های با شوری بالا است. آب‌های زیرزمینی سبب خوردگی خطوط انتقال و توزیع و تولید لایه‌های رسوبی بر روی سطوح و دیواره‌های سیستم‌های تبادل گرما می‌شوند. میزان خوردگی سازه‌های فلزی در تماس با هر محیط آبی بستگی به پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب مانند pH، قلیائیت، کل جامدات محلول، اکسیژن محلول، سختی، هدایت هیدرولیکی و درجه حرارت دارد (Sarada Kalyani et al., 2017). شاخص‌های مختلفی برای پیش‌بینی پتانسیل خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌ها ارائه شده است؛ که شاخص اشباع لانژلیه (LSI) و شاخص پایداری رایزنر (RI) از پرکاربردترین این شاخص‌ها هستند.

منابع آب زیرزمینی محدوده‌ی معدنی گل‌گهر سیرجان، استان کرمان از کیفیت بسیار پایینی برخوردار هستند؛ بطوریکه هدایت الکتریکی برخی از چاه‌های پمپاژ به نزدیک صدهزار میکروزمینس بر سانتی‌متر رسیده است (شجاعی و Jahanshahi and Zare, 2017؛ ۱۳۹۶). وجود کفه‌های نمکی خیرآباد و مرگ در کنار فعالیت‌های کشاورزی و معدنکاری می‌تواند بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه اثر گذار باشند. به لحاظ اینکه آب زیرزمینی این ناحیه جهت مصارف مختلف معدنی، صنعتی، آبیاری و آشامیدن حیوانات اهلی مورداستفاده قرار می‌گیرند؛ پژوهش در مورد آلودگی عناصر نادر و پتانسیل خوردگی منابع آب زیرزمینی منطقه، لازم و ضروری است.

#### منطقه مورد مطالعه

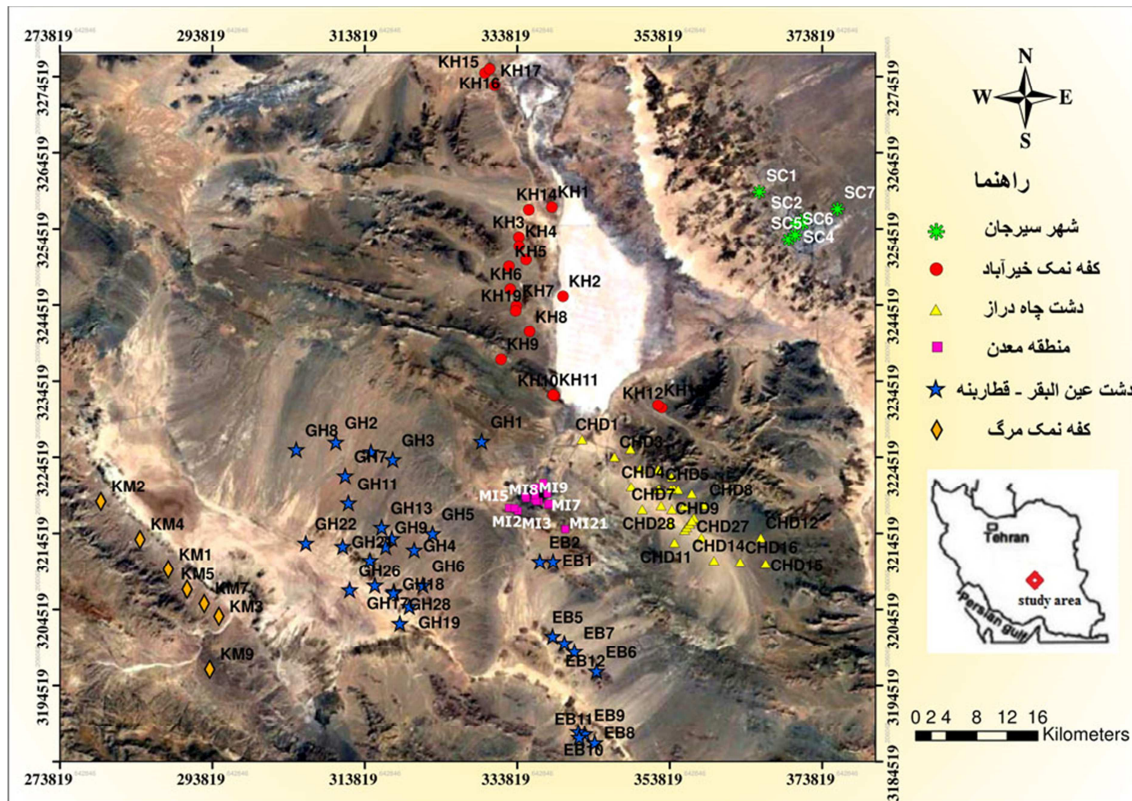
منطقه‌ی گل‌گهر در جنوب غرب شهر سیرجان در استان کرمان، حدوداً بین عرض‌های  $29^{\circ}$  و  $29^{\circ} 20'$  شمالی و طول‌های  $55^{\circ} 12'$  و  $55^{\circ} 40'$  شرقی واقع شده است. آب و هوای این منطقه نیمه خشک می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه در این منطقه ۱۷۲ میلی‌متر و بیشتر در فصل زمستان می‌باشد. از لحاظ زمین‌شناسی این ناحیه در لبه شمال شرقی پهنه ساندج-سیرجان و لبه فروافتادگی نمک‌زار کفه خیرآباد که خود در حدفاصل پهنه ساندج-سیرجان و کمربند آتشفشانی ارومیه-دختر به وجود آمده، قرار گرفته است. مگنتیت کانی اصلی سنگ آهن گل‌گهر است. هماتیت کانی ثانویه سنگ آهن بوده و در زون اکسیدان متمرکز شده است و مقدار آن خیلی کمتر از مگنتیت است. گوتیت، مارتیت و لیمونیت از کانیهای فرعی اکسیدی بوده و پیریت، کالکوپیریت و پیروتیت از کانیهای سولفیدی هستند و کانی‌های غیرفلزی شامل کوارتز، فلدسپات و بیوتیت و به میزان کمتر اسفن، زیرکن، تورمالین، اپیدوت، کلریت و آپاتیت وجود دارد (شکل ۱). مطالعات هیدروژئولوژیکی نشان می‌دهد که دو آبخوان در منطقه وجود دارد، آبخوان بالایی یک آبخوان آبرفتی است که در بالای یک آبخوان سنگ سخت (دگرگونی) قرار گرفته است. کیفیت منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف متفاوت است و هدایت الکتریکی آب در این منطقه نزدیک به ۳۵۰ تا ۷۰۰۰۰ میکروزمینس بر سانتی‌متر متغیر می‌باشد (Jahanshahi and Zare, 2017).



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی رقمی شده منطقه معدنی گل گهر سیرجان در محیط GIS (ترسیم‌شده براساس نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیت‌های گل‌گهر، سیرجان و قطروئیه سازمان زمین‌شناسی کشور)

### نمونه برداری

به منظور اندازه‌گیری مقادیر یون‌های اصلی و عناصر نادر در آب‌زیرزمینی منطقه معدنی گل گهر سیرجان در تابستان سال ۱۳۹۵ از آب زیرزمینی ۱۱۵ محل چاه کشاورزی، چاه مشاهده‌ای و قنات در مناطق شهر سیرجان، کفه نمک خیرآباد، چاه‌دراز، ناحیه‌ی معدن گل‌گهر، قطاربنه-عین‌البقر و کفه مرگ نمونه‌برداری انجام شده است با توجه به حوضه‌های آبریز و زمین‌شناسی، محل‌های نمونه‌برداری به ۶ گروه شامل منابع آب زیرزمینی شهر سیرجان (SC)، کفه خیرآباد (KH)، دشت چاه‌دراز (CHD)، منطقه‌ی معدنی (MI)، عین‌البقر و قطاربنه (EB and GH) و کفه مرگ (KM) تقسیم شده‌اند (شکل ۲). در این پژوهش سعی شد نقاط نمونه‌برداری، کلیه محل‌های استخراج و پایش آب زیرزمینی منطقه را پوشش دهد. بنابراین پراکندگی نمونه‌ها سیستماتیک نبوده و تابع توزیع محل منابع آب زیرزمینی می‌باشد. ظروف نمونه‌برداری ۳۰۰ میلی لیتر پلی اتیلن، از آب زیرزمینی تخلیه شده از چاه‌های کشاورزی و قنات و همچنین بوسیله نمونه‌گیر تدریجی از محل چاه‌های مشاهده‌ای، پر شدند. نمونه‌های آب قبل از تخلیه در ظروف نمونه‌برداری، با استفاده از فیلترهای ۰/۴۵ میکرومتر سرسرنگی فیلتر شده و جهت تثبیت فلزات سنگین، به هر ظرف نمونه، ۰/۵ میلی لیتر اسید نیتریک با درجه خلوص ۶۵٪ اضافه گردید. نمونه‌های آب تا انتقال به آزمایشگاه، در محیط خنک با درجه حرارت ۴ درجه سانتیگراد نگهداری و سپس یون‌های اصلی و عناصر نمونه‌های آب از طریق روش‌های تیتراسیون و دستگاه ICP-MS و ICP-MS اندازه‌گیری شدند.



شکل ۲: موقعیت محل‌های نمونه‌برداری فلزات سنگین در آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

### داده‌ها و روش‌ها

به منظور ارزیابی وسعت آلودگی عناصر نادر به‌ویژه در منابع آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه چندین شاخص معرفی شده است؛ که از جمله می‌توان به شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI) Heavy metal pollution index ، شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI) Heavy metal index و درجه آلودگی (C<sub>d</sub>) Degree of contamination اشاره کرد.

شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)

با محاسبه شاخص ارزیابی فلزات سنگین (HEI)، می‌توان نسبت به رتبه‌بندی کلی کیفیت آب براساس آلودگی فلزات سنگین و درک بهتر از شرایط کیفی آب اقدام کرد (Caerio, 2005). شاخص ارزیابی فلزات سنگین با معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$HEI = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{S_i} \quad (1)$$

که در آن M<sub>i</sub> و S<sub>i</sub> به ترتیب مقدار غلظت اندازه‌گیری شده و حداکثر غلظت مجاز (MAC) پارامتر i ام هستند. با توجه به این شاخص اگر غلظت حتی یک عنصر خاص بالاتر از مقدار S<sub>i</sub> مربوطه باشد (یعنی، MI > ۱)، آب نمی‌تواند

مورد استفاده‌ی آشامیدن قرار گیرد. بنابراین، مقدار ۱ برای MI آستانه هشداردهنده است (Jahanshahi and Zare, 2015). حتی در مورد جایی که MI کمتر از  $S_i$  برای تمام پارامترها است (Hajizadeh, 2011). لذا در این تحقیق  $1 > HEI$  آستانه هشداردهنده و به عنوان معیار  $I$  در نظر گرفته شده است.

#### شاخص آلودگی فلزات سنگین (HPI)

شاخص آلودگی فلزات سنگین به عنوان میزان تأثیر فلزات سنگین انحلال یافته مختلف تعریف می‌شود. همچنین این شاخص یک تکنیک قوی برای ارزیابی کیفیت آب بر اساس غلظت فلزات سنگین است. با استفاده از این شاخص می‌توان اثر فلزات سنگین بر سلامت انسان تعیین کرد. فرمول محاسبه اندیس آلودگی فلزات سنگین به صورت رابطه (۲) می‌باشد:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

$W_i$  ضریب وزنی فلز سنگین  $i$ ام است؛ که از معکوس مقدار استاندارد فلز سنگین  $i$ ام ( $S_i$ ) به دست می‌آید.  $Q_i$  زیرشاخص برای پارامتر  $i$ ام هر فلز سنگین از معادله (۳) محاسبه می‌شود (Mohan, 1996):

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{|M_i - I_i|}{S_i - I_i} \times 100 \quad (3)$$

$M_i$  مقدار فلز سنگین  $i$  مشاهده شده در نمونه

$I_i$  مقدار ایده‌آل (حداکثر غلظت مطلوب) فلز سنگین  $i$  در نمونه

$S_i$  مقدار استاندارد یا حداکثر غلظت مجاز برای فلز سنگین  $i$  می‌باشد؛ که با توجه به نوع کیفیت آب (شرب یا کشاورزی) به صورت کشوری و یا جهانی موجود است.

اگر مقدار این شاخص از ۱۰۰ بیشتر باشد ( $HPI > 100$ )، آلودگی آب به فلز سنگین بالاست، اگر برابر ۱۰۰ باشد ( $HPI = 100$ )، آلودگی فلز سنگین در آب در آستانه مخاطره است و اگر کمتر از ۱۰۰ باشد ( $HPI < 100$ )، آلودگی آب به فلزات سنگین کم در نظر گرفته می‌شود (Nasrabadi, 2015; Reza and Singh, 2010). مقدار HPI در این تحقیق به عنوان معیار  $II$  ذکر شده است.

#### درجه آلودگی (Ca)

از این اندیس برای تشخیص آلودگی آب به انواع عناصر مختلف اعم از فلزی یا غیرفلزی می‌توان استفاده کرد. با این شرط که حداکثر غلظت مجاز برای عنصر مورد نظر در آب مشخص باشد (Bhuiyan, 2010). اندیس درجه آلودگی از رابطه (۴) و (۵) محاسبه می‌شود:

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_{fi} \quad (4)$$

$$C_{fi} = \frac{M_i}{S_i} - 1 \quad (5)$$

که در آن  $C_{fi}$ ؛  $M_i$  و  $S_i$  به ترتیب نشان‌دهنده عامل آلودگی، مقادیر اندازه‌گیری شده و حداکثر غلظت مجاز برای جزء  $i$  ام هستند. البته عناصری که مقادیر اندازه‌گیری شده آن‌ها کمتر از حداکثر غلظت مجاز هستند در نظر گرفته

نمی‌شوند. بر اساس این شاخص  $C_d < 1$  درجه آلودگی پایین،  $1 < C_d < 3$  درجه آلودگی متوسط و  $C_d > 3$  درجه آلودگی بالا (Nasrabadi, 2015) در نظر گرفته می‌شود و به عنوان **معیار III** ارائه شده است. در جدول ۱ مقدار مجاز استاندارد و حداکثر مقدار مطلوب برخی از یون و عناصر نادر بر مبنای استاندارد بهداشت جهانی WHO جهت محاسبه سه شاخص آلودگی ارائه شده است. با توجه به روابط فوق، شاخص‌های آلودگی منابع آب منطقه مورد مطالعه محاسبه شدند.

جدول ۱: غلظت‌های مجاز (مقدار مجاز استاندارد و حداکثر مقدار مطلوب) عناصر نادر بر حسب  $\mu\text{g L}^{-1}$  براساس استاندارد بهداشت جهانی (WHO, 2017)

Fe	Cu	Mn	Pb	B	Ba	As	NO <sub>3</sub>
۳۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰	۵۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰	۵۰
۱۰۰	۵۰	۱۰۰	-	-	-	-	۱۰

#### پتانسیل خوردگی آب زیرزمینی

در این تحقیق، بررسی پتانسیل خوردگی منابع آب زیرزمینی منطقه‌ی مورد مطالعه، بر مبنای محل قرارگیری، به ۴ گروه تقسیم‌بندی شده است؛ که شامل محدوده‌ی کفه نمک خیرآباد (KH)، دشت چاه‌دراز (CHD)، محدوده‌ی معدنی گل‌گهر (MI)، منطقه قطاربنه (GH) می‌باشد.

به منظور محاسبه شاخص‌های خوردگی غلظت‌های یون‌های کلسیم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) منیزیم ( $\text{Mg}^{2+}$ )، کربنات ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) و بی‌کربنات ( $\text{HCO}_3^-$ ) در نمونه‌های آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. pH آب در حالت اشباع از کربنات کلسیم (pHs) از رابطه‌ی (۶) محاسبه گردید:

$$\text{pHs} = [(9.3 + A + B) - (C + D)] \quad (6)$$

که در آن

$$A = (\text{Log}[\text{TDS}] - 1) / 10 \quad (7)$$

$$B = - 3.12 \times \text{Log} (^\circ\text{C} + 273) + 34.55 \quad (8)$$

$$C = \text{Log} [\text{TH}] - 0.4 \quad (9)$$

$$D = \text{Log} [\text{TA}] \quad (10)$$

که در این روابط: کل جامدات محلول به میلی‌گرم بر لیتر، درجه حرارت بر حسب درجه سانتی‌گراد ( $^\circ\text{C}$ )، سختی کل بر حسب کربنات کلسیم معادل بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و کلیاییت کل معادل کربنات کلسیم بر حسب میلی‌گرم بر لیتر است. شاخص لانژلیه و شاخص رایزنر با استفاده از pH واقعی آب و pHs توسط روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه شدند:

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHs} \quad (11)$$

$$RI = 2pHs - pH \quad (۱۲)$$

اگر  $pH > pHs$  باشد،  $LSI > 0$  است؛ در این حالت آب از کربنات کلسیم اشباع خواهد بود و آب رسوب‌گذار محسوب می‌شود و برعکس اگر  $LSI < 0$  باشد. آب خورنده است. اگر شاخص رایزنر کمتر از  $۶/۵$  باشد آب تمایل به رسوب‌گذاری دارد و برعکس اگر این شاخص از  $۶/۵$  بیشتر شود آب خورنده است (Rafferty, 2000).

### نتایج و بحث

میانگین غلظت یونهای جزئی و عناصر نادر در آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است. میانگین غلظت یون‌ها و عناصر نادر به ترتیب از بیشتر به کمتر عبارت است از:  $NO_3 > B > NH_4 > As > Mn > Ba > Cr > NO_2 > Cu > Pb > Cd$ . در بین مناطق مختلف، بطور کلی آب‌زیرزمینی مناطق چاه‌دراز و کفه مرگ، دارای غلظت یونها و عناصر بیش از حد مجاز WHO هستند. غلظت  $NO_2$ ،  $Ba$ ،  $Cu$  و  $Sb$  در همه مناطق کمتر از حد مجاز WHO می‌باشد و آلودگی با این عناصر در کل منطقه وجود ندارد. غلظت  $Cr$  در تمام مناطق به جز منطقه‌ی شهر سیرجان از حد مجاز WHO بیشتر است. غلظت سرب در مناطق مربوط به کفه نمک خیرآباد و چاه‌دراز بالاتر از حد مجاز می‌باشد و نشان‌دهنده آلودگی سرب در این مناطق است. غلظت عناصر  $Cd$ ،  $B$  و  $As$  در تمام مناطق بالاتر از حد مجاز است و بیانگر آلودگی تمام مناطق با این عناصر است.

شاخص HPI دارای مقدار میانگین  $۱۷۱۳/۹۷$  و بین  $۳۷/۳۹$  تا  $۷۲۷۵۳/۳۸$  متغیر می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۳(الف) مشاهده می‌شود. اکثر نمونه‌ها در بالای شاخص مقدار مجاز ( $HPI > 100$  یا معیار I) برای آب آشامیدنی قرار گرفته‌اند.

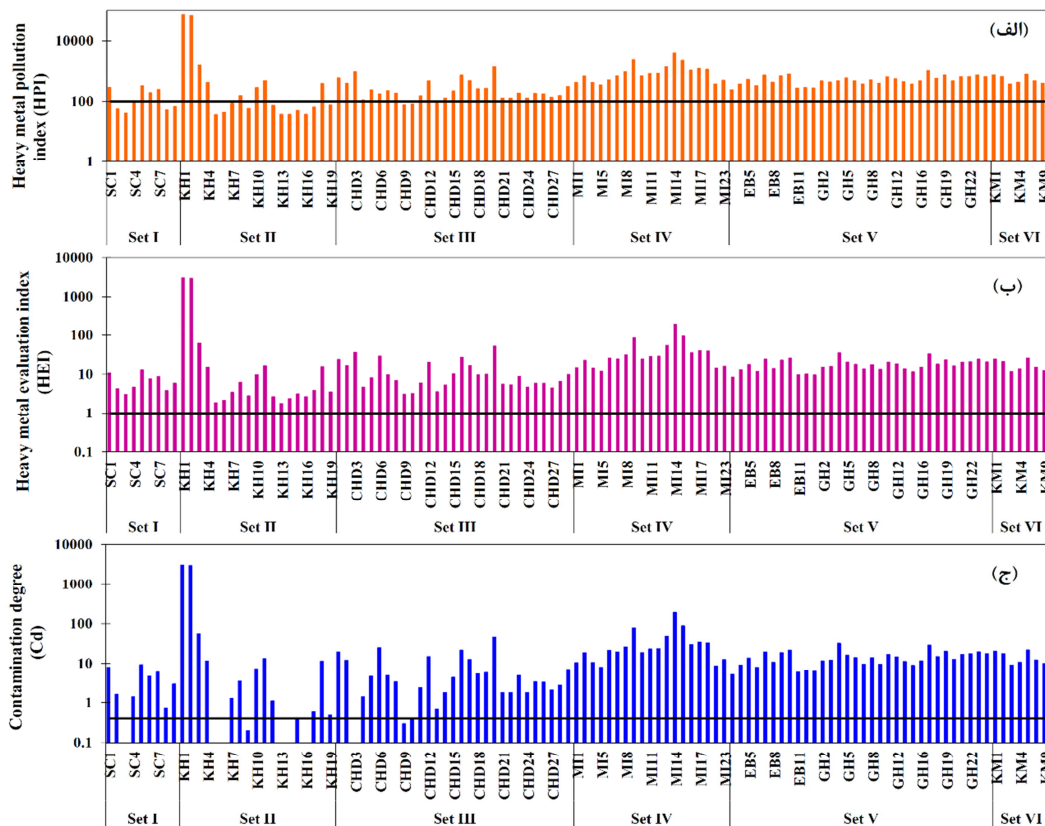
شاخص HEI شامل مقدار میانگین  $۷۰/۴۶$  و حداقل و حداکثر آن به ترتیب  $۱/۷۹$  و  $۳۰۳۷/۷۷$  است. طبق شکل ۳(ب) کل نمونه‌ها در بالای خط آستانه هشدار ( $HEI > 1$  یا معیار II) قرار گرفته‌اند. براین اساس نمونه‌های آب زیرزمینی آلوده هستند.

مقدار میانگین درجه آلودگی ( $C_d$ ) در آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه برابر  $۶۶/۲۶$  و حداقل و حداکثر این اندیس آلودگی در بازه‌ای از  $۰$  تا  $۳۰۲۹/۲۲$  قرار دارد. نمونه‌های  $MI4$ ،  $KH2$  و  $KH1$ ، براساس معیار III، بالاتر از  $۳$  هستند و درجه بالایی از آلودگی دارند. سایر نمونه‌ها کم‌تر از  $۳$  بوده و از درجه پایینی از آلودگی برخوردارند (شکل ۳ ج).



جدول ۲: متوسط غلظت عناصر نادر ( $\mu\text{g/L}$ )، نیترات، نیتریت و آمونیوم ( $\text{mg/L}$ ) در نمونه‌های آب زیرزمینی مناطق ۶ گانه منطقه مورد مطالعه

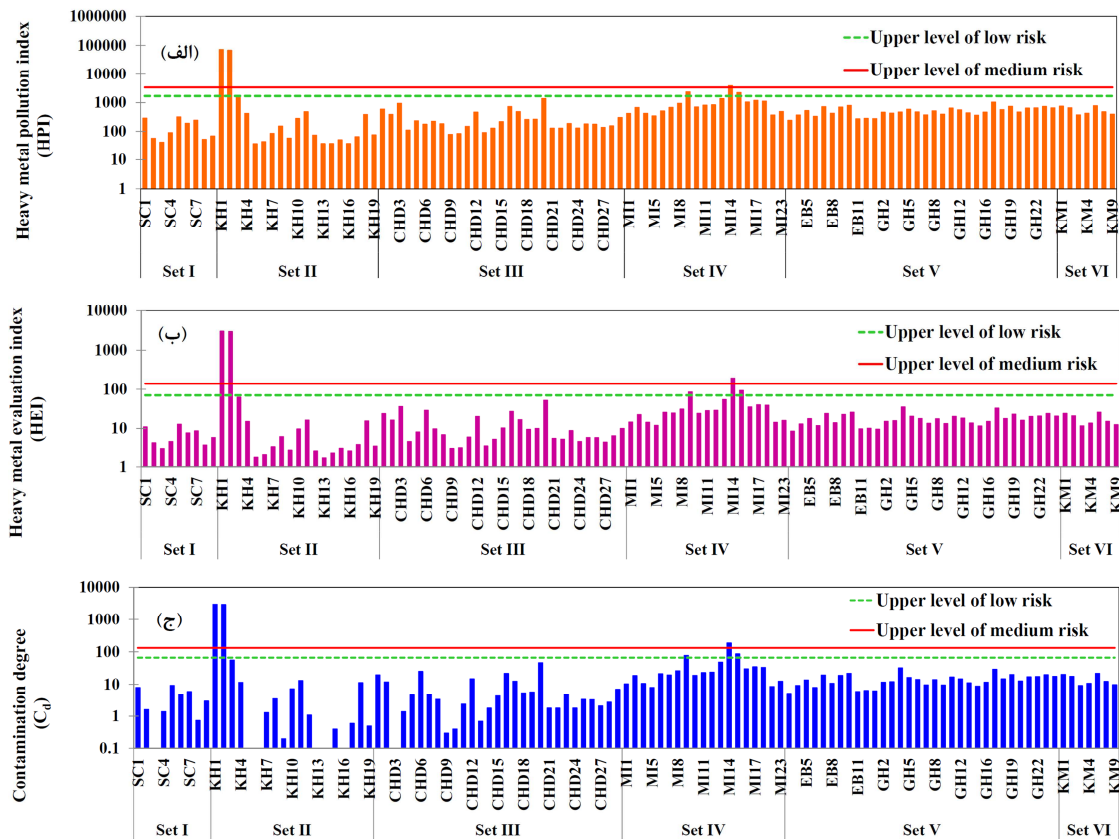
Cu	Cr	Mn	Pb	Cd	B	Ba	Sb	As	NH4	NO3	NO2	گروه نمونه
۱۱/۵	۳۹/۷۸	۱۶/۶۷	۱	۱	۱۹۳۳/۳	۴۴۴/۴	۱/۳	۹۲/۳۳	۵۷۵/۴	۳۲۱۴۲/۲	۳۳/۴	Set I (SC)
۹۷۶/۲	۱۹۶۹	۳۸۲۰	۲۶۳	۳/۴	۲۴۵۷/۹	۵۶۳/۲	۹/۲	۵۳۴۹	۹۷۶/۴	۳۳۹۴۶/۸	۷۳/۶	Set II (KH)
۲۸/۴	۶۵/۷	۶۲۸/۷	۱۷/۲	۱۹/۱	۱۰۹۱/۴	۲۵۵/۵	۱۲	۲۳/۳	۲۱۸۴	۳۷۱۸۲/۴	۳۰۱/۵	Set III (CHD)
۷۲/۸	۲۵۷/۲	۹۶۱/۲	۱۶/۶	۴۷/۱	۳۸۷۳/۷	۶۷۹/۵	۸/۹	۳۲۵/۳	۶۷۲۲/۵	۱۰۲۷۴۳/۲	۱۰۵۹	Set IV (MI)
۱۵/۷	۷۶/۲	۳۶۶/۷	۱/۹	۷۸/۳	۱۶۸۷/۵	۴۴۷/۵	۵/۷	۱۰/۲	۷۷۷/۴	۴۰۷۶۷/۴	۱۰۴/۷	Set V (EB and GH)
۱۵/۳	۶۰/۱	۲۳/۳	۶/۴	۱۰۳	۱۲۲۸/۶	۱۵۲/۹	۶	۲۹/۷	۴۹۰/۹	۷۹۴۴۱/۴	۵۰/۶	Set VI (KM)
۱۸۶/۷	۴۱۱/۳	۹۶۹/۴	۵۱	۴۲	۲۰۴۵/۴	۴۲۳/۸	۷/۳	۹۷۱/۶	۱۹۵۴/۴	۵۴۳۷۰/۶	۲۷۶/۵	میانگین



شکل ۳: اندیس‌های آلودگی فلزات سنگین (HEI, HPI و Cd)

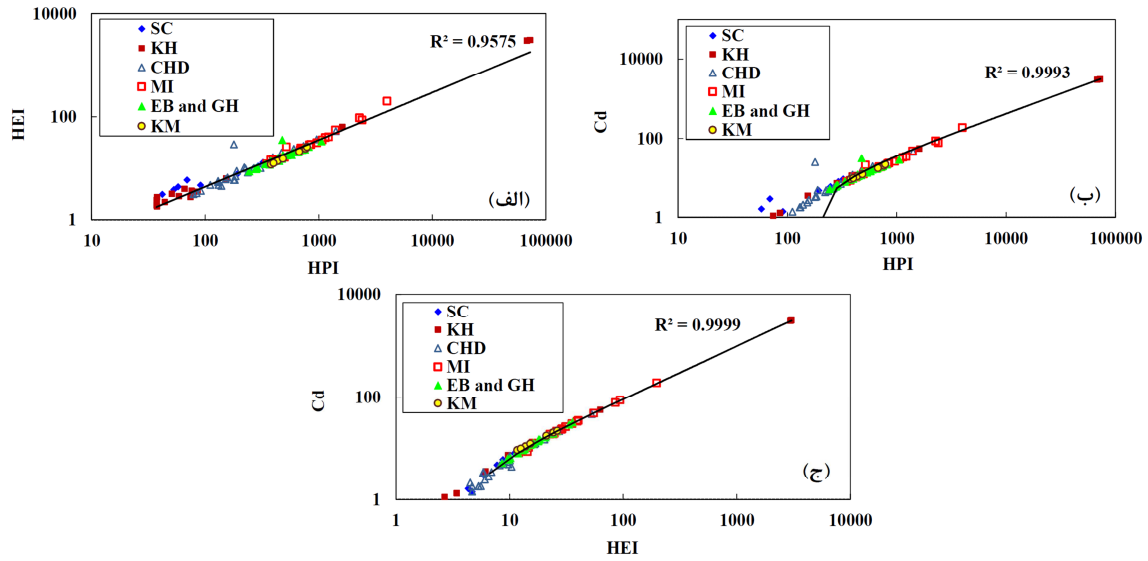
بر اساس معیار IV، در شکل ۴، نمونه‌های دارای شاخص HPI کم‌تر از ۱۷۱۳/۹۷ در سطح کم خطر، بین ۳۴۲۷/۹۵ - ۱۷۱۳/۹۷ سطح خطر متوسط و بیشتر از ۳۴۲۷/۹۵ در سطح خطر بالا دسته‌بندی شده‌اند. بر مبنای شاخص HEI،

نمونه‌های کمتر از ۷۰/۴۶ دارای سطح کم خطر، بین ۱۴۰/۹۳ - ۷۰/۴۶ سطح خطر متوسط و بالاتر از ۱۴۰/۹۳ در سطح خطر بالا طبقه‌بندی می‌شوند. شاخص آلودگی ( $C_d$ ) در سطح کم خطر دارای مقدار کمتر از ۶۶/۲۶، در سطح خطر متوسط دارای مقداری بین ۱۳۲/۵۲ - ۶۶/۲۶ و در سطح خطر بالا دارای مقدار بیشتر از ۱۳۲/۵۲ قرار گرفته است.

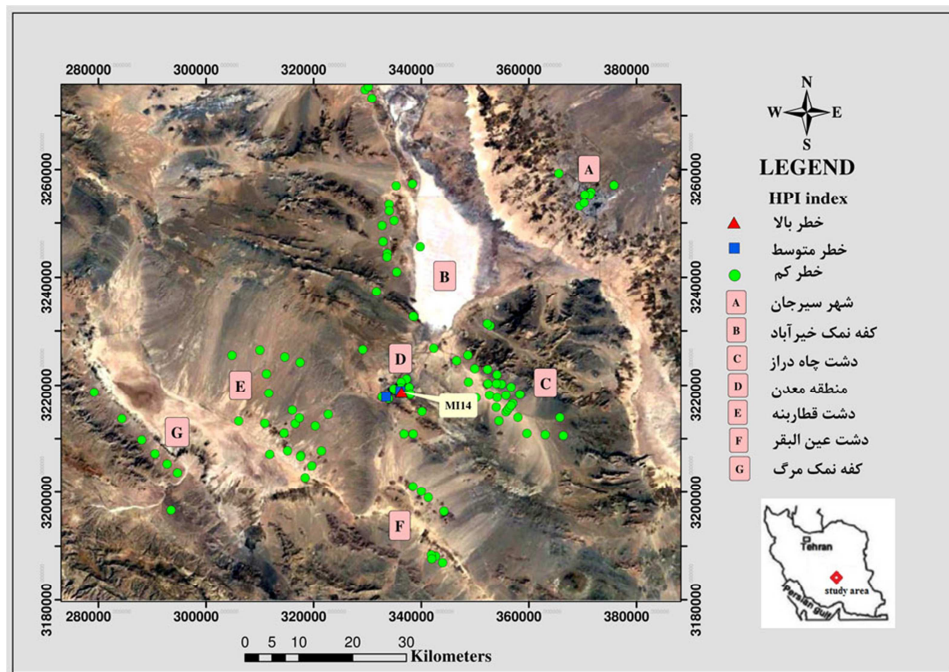


شکل ۴: نمودارهای اندیس‌های ارزیابی آلودگی در نمونه‌های آب زیرزمینی در سطح خطر کم، متوسط و زیاد

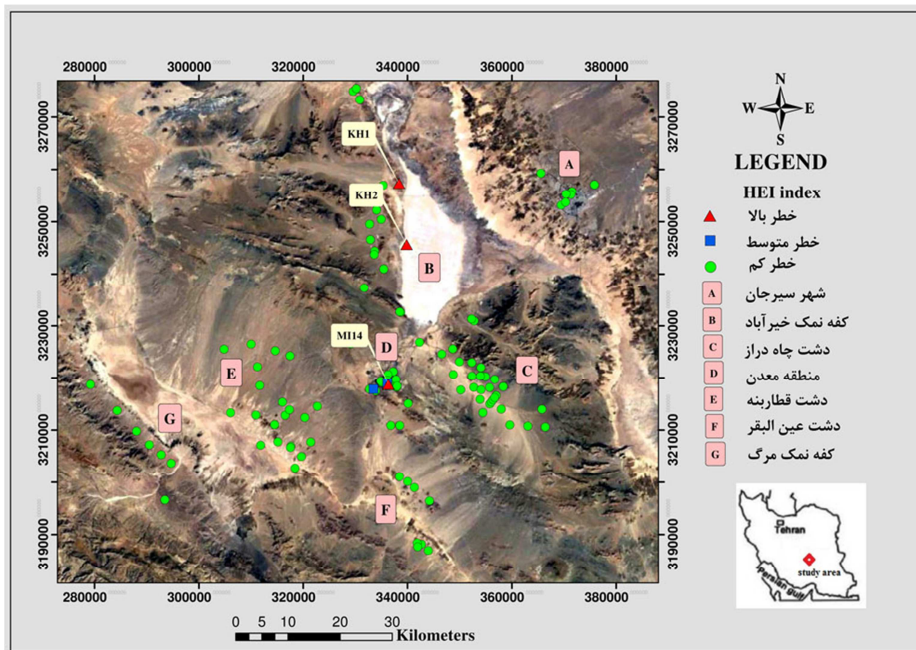
نمودارهای شاخص‌های مختلف در برابر هم ترسیم شده است (شکل ۵). همبستگی بین شاخص‌ها مثبت و بالاست، لذا استفاده از هر شاخص جهت طبقه‌بندی آلودگی نمونه‌های آب‌زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، مناسب می‌باشند. براساس نمودار و نقشه‌های پراکندگی اندیس‌های آلودگی (شکل ۶، ۷ و ۸) نقاط با خطر آلودگی بالا مربوط به نقطه‌ی منطقه‌ی معدن گل‌گهر و نقاط KH1 و KH2 در کفه نمک خیرآباد می‌باشد.



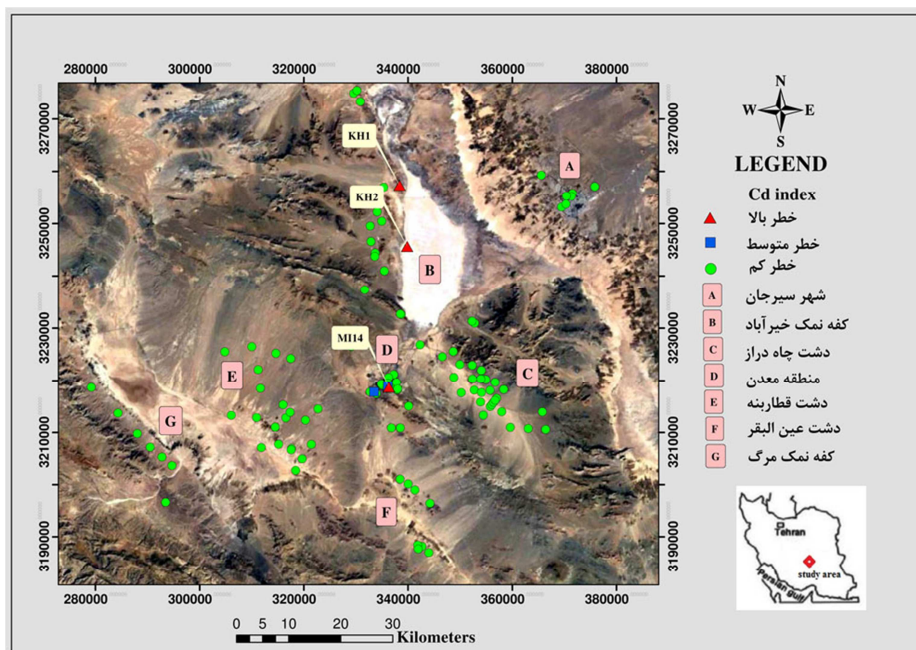
شکل ۵: نمودار HEI، HPI و Cd در مقابل یکدیگر و همبستگی بین آنها



شکل ۶: میزان اندیس HPI در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

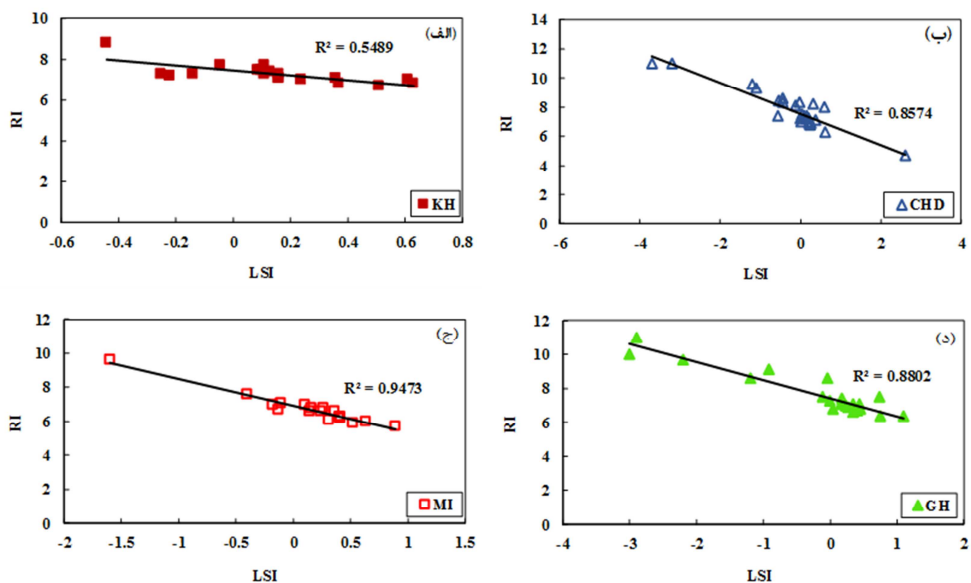


شکل ۷: میزان اندیس HEI در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



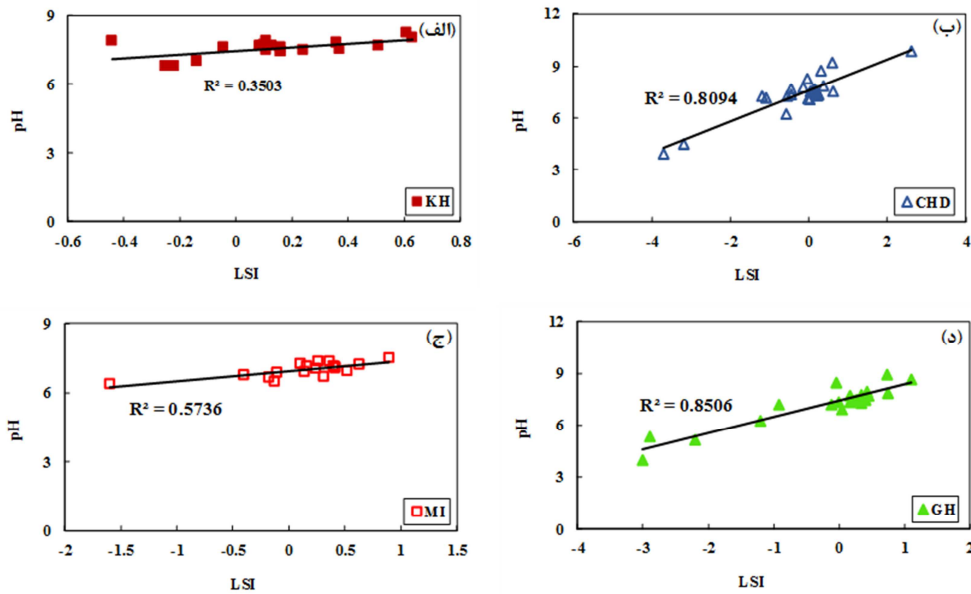
شکل ۸: میزان اندیس Cd در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

رابطه بین شاخص لانژلیه و شاخص رایزنر منابع آب زیرزمینی مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه در شکل ۹ نشان می‌دهد در تمام مناطق شاخص لانژلیه نسبت به شاخص رایزنر نسبت معکوس دارد؛ آبی که خاصیت رسوب‌گذاری داشته باشد؛ دیگر تمایلی به خوردگی ندارد. باتوجه به رابطه نظری بین این دو شاخص (رابطه ۱۱) که منوط به داشتن pH آب منطقه است؛ بایستی این دو به‌طور معکوس، از نظر تئوری، با شیب ۲- و عرض از مبدأ برابر pH آب به هم مربوط باشند. عرض از مبدأ معادله، میل به میانگین pH آب سفره و شیب خط، میل به ۲- دارد. باتوجه به این می‌توان شاخص لانژلیه و رایزنر را در آبخوان برآورد کرد.

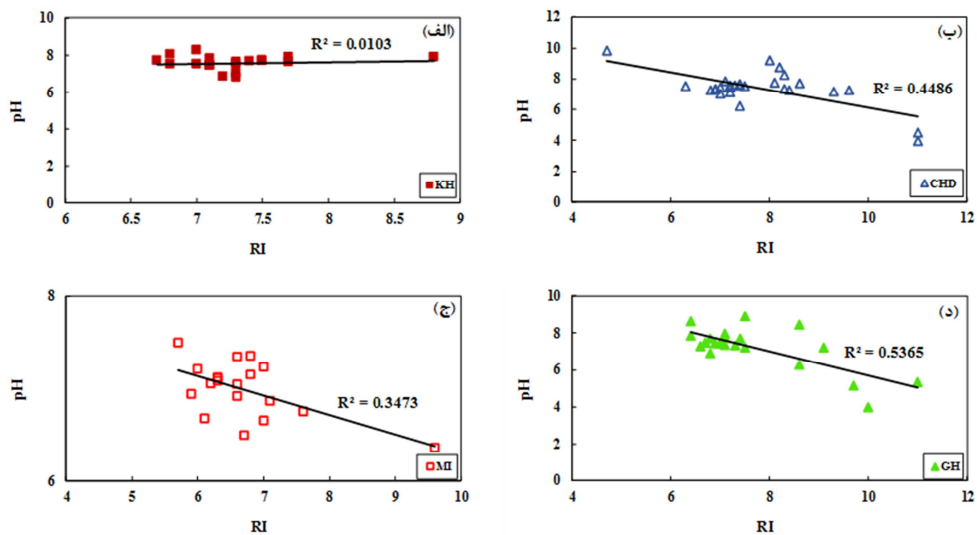


شکل ۹: رابطه بین شاخص لانژلیه و شاخص رایزنر در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

اشکال ۱۰ و ۱۱ به ترتیب رابطه‌ی بین شاخص LSI و pH و شاخص RI و pH در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. هرچه pH آب زیرزمینی به سمت قلیایی می‌رود، شاخص لانژلیه افزایش می‌یابد و همبستگی مثبتی بین این دو پارامتر دیده می‌شود. در مناطق چاه دراز و قطاربنه همبستگی مثبت بالایی بین دو پارامتر pH و LSI برقرار است. در pH های بالاتر (بین ۷ تا ۹) شاخص لانژلیه افزایش یافته است؛ که می‌تواند بیانگر رسوب‌گذار بودن آب باشد؛ اما در pH های کمتر (بین ۳ تا ۷) شاخص لانژلیه مقادیر کمتر از صفر را نشان می‌دهد که بیانگر خوردگی منابع آب زیرزمینی در اکثر مناطق است.



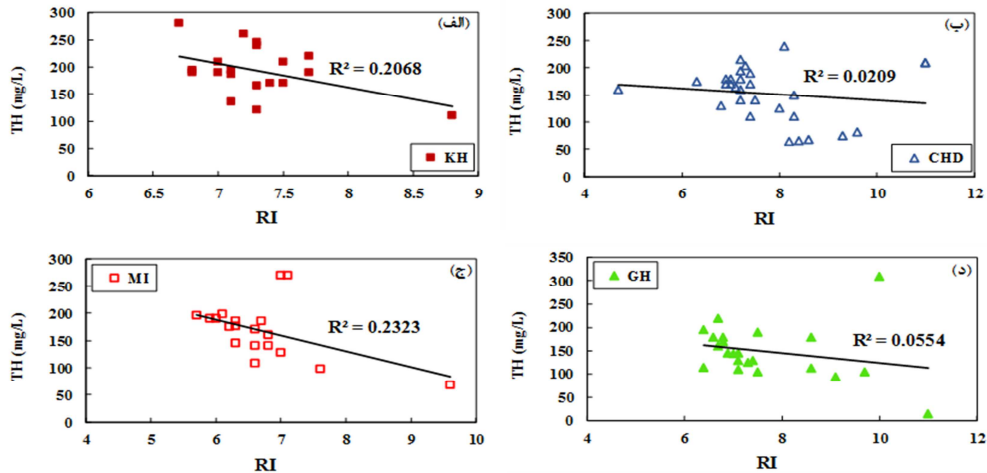
شکل ۱۰: رابطه بین شاخص لانزلیه و pH در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



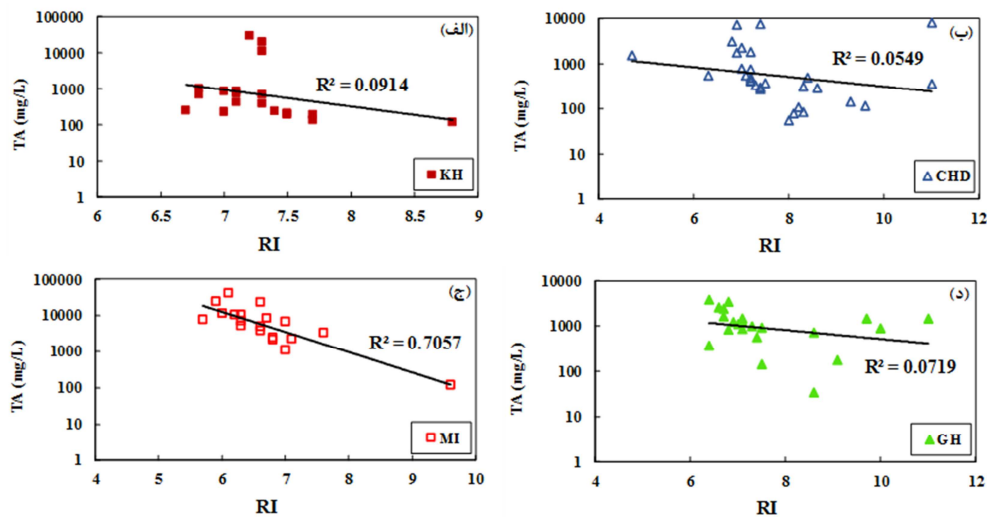
شکل ۱۱: رابطه بین شاخص رایزنر و pH در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

رابطه بین شاخص رایزنر با قلیابیت کل و سختی کل در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به ترتیب در اشکال ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است. همبستگی مثبت ولی بسیار ضعیف بین شاخص رایزنر و قلیابیت کل وجود دارد. در قلیابیت‌های بالا شاخص رایزنر افزایش یافته که نشان‌دهنده تمایل آب منطقه به خورندگی است. شاخص رایزنر با سختی کل نیز در تمام مناطق همبستگی مثبت و ضعیفی را نشان می‌دهد؛ به جز در منطقه معدن که همبستگی

مثبت و قوی دارد. در سختی کل بالا، شاخص رایزنر مقادیر بالایی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده خوردگی آب است و با کاهش سختی کل تمایل آب به رسوب‌گذاری است.



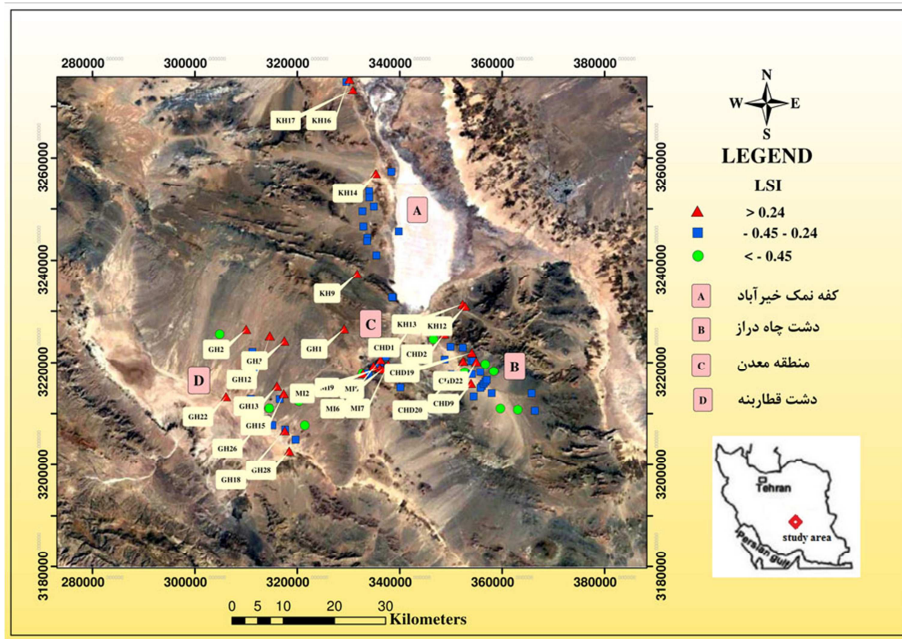
شکل ۱۲: رابطه شاخص رایزنر با TH (قلیابیت کل) در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



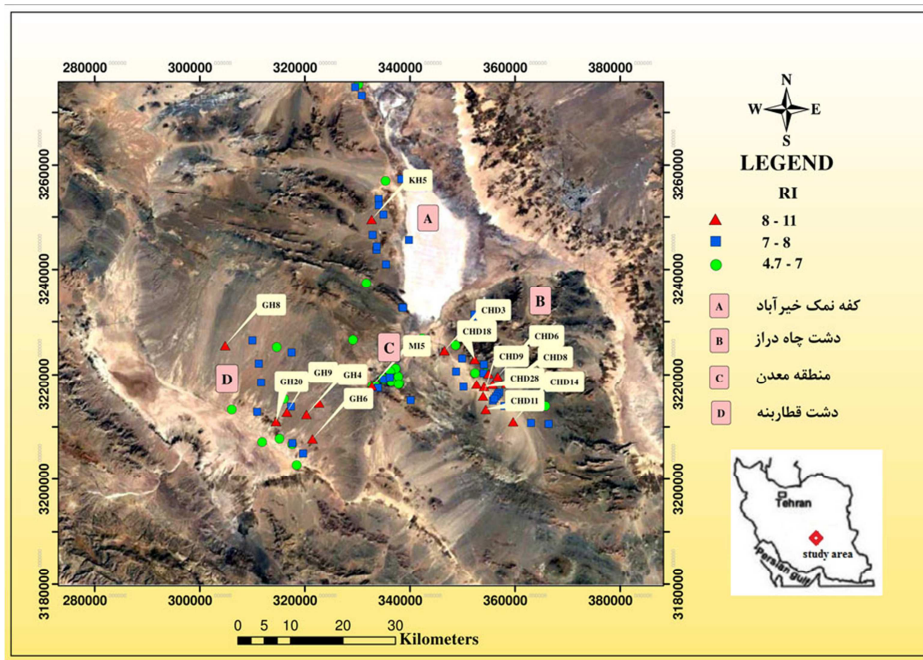
شکل ۱۳: رابطه شاخص رایزنر با TA (سختی کل) در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه

پراکندگی شاخص خوردگی لائزلیه در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۴ نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین حد این شاخص به ترتیب ۳/۷ - و ۲/۶ است. نقاطی که دارای  $LSI > 0$  هستند، آب از کربنات کلسیم اشباع بوده و رسوب‌گذار است و با مثلث‌های قرمز در تمام مناطق دیده می‌شود. سایر نقاط دارای  $LSI < 0$  بوده و نشان‌دهنده خوردگی این منابع آب زیرزمینی می‌باشد. بیشترین و کمترین حد شاخص رایزنر در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۴/۷ و ۱۱ می‌باشد؛ نقشه پراکندگی این شاخص در شکل ۱۴ نشان می‌دهد که نقاطی که شاخص رایزنر کمتر از ۶/۵ دارند آب تمایل به رسوب‌گذاری دارد و نقاط با شاخص بیشتر از ۶/۵

نشان‌دهنده خورندگی آب می‌باشد. همچنین بر اساس آنچه در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، اکثر نقاط منطقه مورد مطالعه شاخص بالاتر از ۶/۵ دارند و آب زیرزمینی منطقه خورنده است.



شکل ۱۴: نقشه‌ی پراکندگی شاخص لائزلیه در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۵: نقشه‌ی پراکندگی شاخص رایشنر در منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه



## نتیجه‌گیری

منابع آب زیرزمینی محدوده‌ی گل‌گهر کیفیت بسیار پایینی دارند و هدایت الکتریکی آب در این منطقه بین ۳۵۰ تا ۷۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر متغیر است. وجود کفه‌های نمکی خیرآباد و مرگ در کنار فعالیت‌های کشاورزی و معدنکاری بر کیفیت آب زیرزمینی منطقه اثر گذاشته است. در بین مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه، عناصر نادر در آب‌زیرزمینی مناطق چاه‌دراز و کفه مرگ، عمدتاً غلظتی بیش از حد مجاز WHO دارند. غلظت Cr در تمام مناطق به جز منطقه‌ی شهر سیرجان از حد مجاز WHO بیشتر است. در حالیکه غلظت سرب در مناطق مربوط به کفه نمک خیرآباد و چاه‌دراز بالاتر از حد مجاز می‌باشد و نشان‌دهنده آلودگی سرب در این مناطق است. همچنین غلظت عناصر Cd، B و As در تمام مناطق بالاتر از حد مجاز است و بیانگر آلودگی منطقه با این عناصر است. در این تحقیق شاخص‌های آلودگی HPI، HEI و Cd به عنوان ابزار مناسبی در ارزیابی آلودگی کل آنها نسبت به فلزات سنگین تشخیص داده شده است. مقادیر و پراکندگی شاخص‌های مذکور نشان می‌دهد نمونه‌های آب چاه‌ها و قنوات منطقه، نسبت به فلزات سنگین به‌طور بحرانی آلوده هستند. همچنین به دلیل استفاده از منابع آب منطقه در تأسیسات فعالیت‌های معدنی گل‌گهر، پتانسیل خوردگی آب زیرزمینی نیز بررسی شد و رابطه‌ی بین شاخص LSI و pH و شاخص RI و pH در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، نشان داد در pH های بین ۳ تا ۷ شاخص لانژلیه مقادیر کمتر از صفر را دارد و بیانگر خوردگی منابع آب زیرزمینی در اکثر مناطق است. علاوه بر این در pH های بالا نیز شاخص رایزنر افزایش پیدا کرده است و نشان‌دهنده تمایل آب به خوردگی می‌باشد. رابطه بین شاخص لانژلیه با کلیت کل و سختی کل در آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش سختی کل، شاخص لانژلیه به میزان کمی افزایش یافته است و بیانگر اشباع بودن آب از کربنات کلسیم و تمایل رسوب‌گذار بودن آب است. رابطه کلیت کل با شاخص لانژلیه نیز تا حدودی شبیه به سختی کل می‌باشد. مشابه با این تحقیق در مناطق مختلف ایران نیز بررسی پتانسیل خوردگی منابع آب زیرزمینی و آب آشامیدنی نیز انجام شده است. بعنوان مثال در آبخوان آبرفتی شهر تهران (حیدریان و همکاران ۱۳۹۶) از شمال به سمت جنوب محتوی کلراید آب زیرزمینی، کل جامدات محلول در آب به‌مراه شاخص رایزنر و شاخص لانژلیه افزایش می‌یابد و پتانسیل آب زیرزمینی از خوردگی به رسوبگذاری تغییر می‌کند. در منطقه سیرجان نیز افزایش شوری آب زیرزمینی به سمت پیت معدن دیده می‌شود و لذا همانند آبخوان تهران، آب زیرزمینی این ناحیه نیز پتانسیل از حالت خوردنده به حالت رسوبگذاری را داراست. همچنین در منطقه ای مانند بیرجند که شباهت آب و هوایی مشابهی با شهر سیرجان دارند نیز تحقیقی انجام شده است (اسپکی و همکاران ۱۳۹۴) که نشان می‌دهد خاصیت خوردگی در همه منابع آب آشامیدنی شهر وجود دارد اما میزان خوردگی در همه آنها یکسان نیست. در هر حال پژوهش انجام شده در منطقه سیرجان نشان می‌دهد برخی از منابع آب زیرزمینی منطقه پتانسیل خوردگی و برخی خاصیت رسوبگذاری بالایی دارند. لذا فرآیند کنترل خوردگی و رسوبگذاری در آب ورودی به کارخانجات باید رعایت شود. این فرایندها می‌تواند شامل اضافه کردن آهک و سودا به آب خام تصفیه نشده باشد که سبب می‌شود دانسیته جریان خوردگی و سرعت خوردگی کاهش یابد.

## منابع

- اسیکی، فاطمه؛ محمدنژاد، مجید؛ کریمی، اعظم. (۱۳۹۴). بررسی شاخص های خوردگی و رسوب گذاری منابع تأمین آب آشامیدنی شهر بیرجند در سال (شهر بیرجند در سال ۱۳۹۳). اولین کنفرانس ملی علوم و مدیریت محیط زیست ایران، اردبیل.
- حیدریان، محمدحسن؛ فاتح دیزجی، علیرضا؛ شاه حسینی، غلامعلی؛ یوسف پور، لیلا. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات زمانی و مکانی پتانسیل خوردگی و رسوبگذاری آبخوان شهر تهران. چهارمین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست. تهران.
- شجاعی باغینی، سیمین. (۱۳۹۶). هیدروژئوشیمی و عناصر نادر در آب زیرزمینی منطقه معدنی گل گهر سیرجان. پایان نامه کارشناسی ارشد آب شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- Ahmadi, S., Jahanshahi, R., Moeini, V., Mali, S., (2018), Assessment of hydrochemistry and heavy metals pollution in the groundwater of Ardestan mineral exploration area, Iran, *Environmental Earth Sciences*, Vol. 77, pp. 212.
- Bhuiyan, M.A.H., Parvez, L., Islam, M.A., Dampare, S.B., Suzuki, S., (2010), Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh, *J Hazard Mater*, Vol. 173, No. 1-3, pp. 384-392.
- Caerio, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A, et al., (2005), Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach, *Ecol Indic.*, Vol. 5, No. 2, pp. 155-69.
- Chakraborty, R., Zaman, S., Mukhopadhyay, N., Banerjee, K., Mitra, A., (2009), Seasonal variation of Zn, Cu and Pb in the estuarine stretch of West Bengal, *Indian J Mar Sci.*, Vol. 38, No. 1, pp. 104-109.
- Chaturvedi, A., Bhattacharjee, S., Singh, A.K., Kumar, V., (2018), A new approach for indexing groundwater heavy metal pollution, *Ecological Indicators*, Vol. 87, pp. 323-331.
- Gholizadeh, A., Mokhtari, M., Naimi, N., Shiravand, B., (2017), Assessment of corrosion and scaling potential in groundwater resources; a case study of Yazd-Ardakan Plain, Iran, *Groundwater for Sustainable Development*, Vol. 5, pp. 59-65.
- Hajizadeh, N.H., Karami, G.H., Saadat, S., (2011), A study on chemical properties of groundwater and soil in ophiolitic rocks in Firuzabad, east of Shahrood, Iran: with emphasis to heavy metal contamination. *Environ Monit Assess*, Vol. 174, pp. 573-58.
- Jahanshahi, R., Zare, M., (2017), Delineating the Origin of Groundwater in the Golgohar Mine Area of Iran Using Stable Isotopes of  $2\text{H}$  and  $18\text{O}$  and Hydrochemistry, *Mine Water, and the Environment*, Vol. 36, No. 4, pp. 550-563.
- Jahanshahi, R., Zare, M., (2015) Assessment of heavy metals pollution in groundwater of Golgohar iron ore mine area, Iran, *Environmental Earth Science*, Vol. 74, pp. 505-520.
- Kribek, B., Majer, V., Veselovsk, F., Nyambe, I., (2010), Discrimination of lithogenic and anthropogenic sources of metal and sulfur in soils of the central-northern part of the Zambian Copper belt. Mining District: a topsoil vs. subsurface soil concept. *Journal of Geochemistry Explore*, Vol. 104, pp. 69-86.
- Mohan, SV, Nithila, P, Reddy, SJ., (1996). Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index, *J Environ Sci Health*, Vol. A31, No. 2, pp. 283-289.
- Nasrabadi T., (2015) An Index Approach to Metallic Pollution in River Waters. *Int J Environ Res.*, Vol, 9, No. 1, 385-394,
- Prasad, B., Bose, J.M., (2001), Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas. *Environ Geol.*, Vol. 41, pp. 183-188.
- Rafferty, R., (2000), ScaLSing in geothermal heat pump systems. *Geo-Heat Center Oregon Institute of Technology*: pp. 11-15.
- Reza, R., Singh, G., (2010), Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *Int J Environ Sci-Tec*; Vol. 7, No. 4, pp. 785-92.
- Sarada Kalyani, D., Rajesh, V., Reddi, E.U.B., Chaitanya Kumar, K., Srinivasa Rao, S., (2017), Correlation between corrosion indices and corrosiveness of groundwater: a study with reference to selected areas of Krishna District, Andhra Pradesh, India, *Environ Earth Sci.*, Vol. 76, pp. 568.
- Singh, G., Kamal, R.K., (2017), Heavy metal contamination and its indexing approach for groundwater of Goa mining region, India, *Applied Water Science*, Vol. 7, No. 3, pp. 1479-1485
- WHO, (2017), Guidelines for Drinking-water Quality, the fourth edition incorporating the first addendum.
- Zabowski, D., Henry, C.L., Zheng, Z., Zhang, X., (2001), Mining impacts on trace metal content of water, soil, and stream sediments in the Hei river basin, China, *Water Air Soil Pollution*, Vol. 131, pp. 261-273.

**Research Article**

## **Evaluating the trace elements contamination and corrosive potential in the groundwater of south and southwest of Sirjan city, Iran**

**Simin Shojaei, Baghini<sup>1</sup>, Reza Jahanshahi\*<sup>2</sup>, Sepideh Mali<sup>3</sup>**

Received: 19-02-2018

Revised: 21-04-2018

Accepted: 11-06-2018

### **Abstract**

This research investigates the contamination of trace elements, nitrate, nitrite, ammonium and corrosive potential in the groundwater of south and southwest of Sirjan city, Kerman province, Iran. Therefore, 115 groundwater samples were collected for Hydrochemical analysis from Sirjan city area, Kheirabad salt playa area, Chahderaz plain, Golegozar mining area, Ghatarbaneh-Eynolbaghar plains and Marg salt playa in July 2016. In descending order, the mean values of minor ions and trace elements are such as:  $\text{NO}_3 > \text{B} > \text{NH}_4 > \text{As} > \text{Mn} > \text{Ba} > \text{Cr} > \text{NO}_2 > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$ . Generally, the concentration of elements and ions in the groundwater of Chahderaz plain and Marg salt playa is above the maximum admissible concentration (MAC) values for drinking water according to WHO. Also, Cd, B and As have concentration more than MAC in total groundwater samples. Chromium in all of the groundwater samples except in Sirjan city samples have concentrations more than maximum admissible concentration. Moreover, Pb in groundwater of Kheirabad salt playa and Chahderaz plain shows a groundwater contamination. While concentrations of Cu, Ba,  $\text{NO}_2$ , and Sb in all of the area are less than MAC. The evaluation indices showed spots in a high-risk level observed in Golegozar mining area, Chahdereaz plain, KH1, and KH2 from Kheirabad playa and KM1 and KM7 from Marg playa area. Finally, according to Langelier Saturation Index (LSI), most of the groundwater samples are corrosive in this area. Therefore, in the processing plant, corrosive process control of groundwater should be accompanied.

**Keywords:** Groundwater contamination, Evaluation indices, Langelier corrosion index.

<sup>1</sup>- M.Sc student of hydrogeology, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

<sup>2</sup>\*- Assistant Professor in University of Sistan and Baluchestan, Iran.

<sup>3</sup>- Ph.D student of hydrogeology, Shahrood University of Technology, Iran.

Email: jahanshahireza@science.usb.ac.ir

## References

### References (in Persian)

- Espagi, F., Mohammad Nejjhad, M., Karimi, A., (2015), Investigation of corrosive and deposition indices in water supply resources in Birjand city, The 1st Conference of Science and Environmental Management, Ardebil. [In Persian]
- Heidarian, M.H., Fateh Dizaji, A., Shahhoseini, G. A., Yosefpour, L., (2017), The study of temporal and spatial variation of groundwater scaling and corrosion potential in Tehran aquifer, International Conference the 4th Environmental Planning & Management, Tehran. [In Persian]
- Shojaei Baghini, S., (2018), Hydrogeochemistry and trace elements in the groundwater of Golgohar mining area, Sirjan, Iran, M.Sc Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. [In Persian]

### References (in English)

- Ahmadi, S., Jahanshahi, R., Moeini, V., Mali, S., (2018), Assessment of hydrochemistry and heavy metals pollution in the groundwater of Ardestan mineral exploration area, Iran, *Environmental Earth Sciences*, Vol. 77, pp. 212.
- Bhuiyan, M.A.H., Parvez, L., Islam, M.A., Dampare, S.B., Suzuki, S., (2010), Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh, *J Hazard Mater*, Vol. 173, No. 1-3, pp. 384-392.
- Caerio, S., Costa, M.H., Ramos, T.B., Fernandes, F., Silveira, N., Coimbra, A, et al., (2005), Assessing heavy metal contamination in Sado Estuary sediment: An index analysis approach, *Ecol Indic.*, Vol. 5, No. 2, pp. 155-69.
- Chakraborty, R., Zaman, S., Mukhopadhyay, N., Banerjee, K., Mitra, A., (2009), Seasonal variation of Zn, Cu and Pb in the estuarine stretch of West Bengal, *Indian J Mar Sci.*, Vol. 38, No. 1, pp. 104-109.
- Chaturvedi, A., Bhattacharjee, S., Singh, A.K., Kumar, V., (2018), A new approach for indexing groundwater heavy metal pollution, *Ecological Indicators*, Vol. 87, pp. 323–331.
- Gholizadeh, A., Mokhtari, M., Naimi, N., Shiravand, B., (2017), Assessment of corrosion and scaling potential in groundwater resources; a case study of Yazd-Ardakan Plain, Iran, *Groundwater for Sustainable Development*, Vol. 5, 59-65.
- Hajizadeh, N.H., Karami, G.H., Saadat, S., (2011), A study on chemical properties of groundwater and soil in ophiolitic rocks in Firuzabad, east of Shahrood, Iran: with emphasis to heavy metal contamination. *Environ Monit Assess*, Vol. 174, 573–58.
- Jahanshahi, R., Zare, M., (2015) Assessment of heavy metals pollution in groundwater of Golgohar iron ore mine area, Iran, *Environmental Earth Science*, Vol. 74, pp. 505-520.
- Jahanshahi, R., Zare, M., (2017), Delineating the Origin of Groundwater in the Golgohar Mine Area of Iran Using Stable Isotopes of  $2\text{H}$  and  $18\text{O}$  and Hydrochemistry, *Mine Water, and the Environment*, Vol. 36, No. 4, pp. 550-563.
- Kribek, B., Majer, V., Veselovsk, F., Nyambe, I., (2010), Discrimination of lithogenic and anthropogenic sources of metal and sulfur in soils of the central-northern part of the Zambian Copper belt. Mining District: a topsoil vs. subsurface soil concept. *Journal of Geochemistry Explore*, Vol. 104, pp. 69-86.
- Mohan, SV. Nithila, P. Reddy, SJ., (1996). Estimation of heavy metal in drinking water and development of heavy metal pollution index, *J Environ Sci Health*, Vol. A31, No. 2, pp. 283-289.
- Nasrabadi T., (2015) An Index Approach to Metallic Pollution in River Waters. *Int J Environ Res.*, Vol, 9, No. 1, 385-394.
- Prasad, B., Bose, J.M., (2001), Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas. *Environ Geol.*, Vol. 41, pp. 183–188.
- Rafferty, R., (2000), ScaLSIng in geothermal heat pump systems. *Geo-Heat Center Oregon Institute of Technology*: 11-15.
- Reza, R., Singh, G., (2010), Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *Int J Environ Sci-Tec*; Vol. 7, No. 4, pp. 785-92.
- Sarada Kalyani, D., Rajesh, V., Reddi, E.U.B., Chaitanya Kumar, K., Srinivasa Rao, S., (2017), Correlation between corrosion indices and corrosiveness of groundwater: a study with reference to selected areas of Krishna District, Andhra Pradesh, India, *Environ Earth Sci.*, Vol. 76, pp. 568.
- Singh, G., Kamal, R.K., (2017), Heavy metal contamination and its indexing approach for groundwater of Goa mining region, India, *Applied Water Science*, Vol. 7, No. 3, pp. 1479–1485
- WHO, (2017), *Guidelines for Drinking-water Quality*, the fourth edition incorporating the first addendum.
- Zabowski, D., Henry, C.L., Zheng, Z., Zhang, X., (2001), Mining impacts on trace metal content of water, soil, and stream sediments in the Hei river basin, China, *Water Air Soil Pollution*, Vol. 131, pp. 261–273.